

PUB-NO: JP410272586A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10272586 A  
TITLE: METHOD AND DEVICE FOR LASER BUTT WELDING OF METALLIC TUBE

PUBN-DATE: October 13, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

MINAMIDA, KATSUHIRO  
OIKAWA, MASASHI  
KAWAI, YASUHIRO  
KOGA, ICHIRO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

NIPPON STEEL CORP

COUNTRY

APPL-NO: JP09079290  
APPL-DATE: March 31, 1997

INT-CL (IPC): B23 K 26/00; B23 K 26/00; B23 K 26/05; B23 K 26/08

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress heat strain from welding and to obtain a sound weld zone in which strength and toughness are improved by carrying out tack welding and normal welding with a specific penetration depth, before piercing welding, simultaneously at a position oppositely facing on the circumference and giving a post heat treatment to the weld zone.

SOLUTION: After tack welding is performed on an abutting part with a penetration depth of 10-50% of a tube thickness, normal welding is performed on the abutting part with the penetration depth of 100% of the tube thickness, with a post heat treatment given to the weld zone. For this purpose, a laser beam LB from a laser generator 1 La (1lb similarly) is transmitted in a first and an extendable/contractible second laser beam guide 7a, 8a through a fixed laser beam guide 20a, a first and a second rotary deflection devices 2a, 3a. Further, through a third rotary deflection device 4a, it is made incident on a laser beam converging optical system 5b on a truck 51a travelling along a ring-shaped guide rail 6. The center of the guide rail 6 is nearly coincident with that of a metallic tube 1a, 1b, with two trucks 51a, 51b made to run along the circumference at an interval of 180°.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-272586

(43)公開日 平成10年(1998)10月13日

(51)Int.Cl. <sup>a</sup> B 23 K 26/00	識別記号 3 1 0	F I B 23 K 26/00	3 1 0 J 3 1 0 W N
26/06		26/06	Z
26/08		26/08	B

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平9-79290

(22)出願日 平成9年(1997)3月31日

(71)出願人 000006655  
新日本製鐵株式会社  
東京都千代田区大手町2丁目6番3号

(72)発明者 南田 勝宏  
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内

(72)発明者 及川 昌志  
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内

(72)発明者 河合 康博  
東京都千代田区大手町2-6-3 新日本製鐵株式会社内

(74)代理人 弁理士 矢眞 知之 (外1名)  
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 金属管のレーザ突合せ溶接方法およびその装置

(57)【要約】

【課題】 金属管どうしの突合せ溶接において、溶接による熱歪みを抑えて健全な溶接部を得る。

【解決手段】 レーザ突合せ溶接方法は、次の工程からなっている。

- ① 管厚みの10~50%の溶込み深さで突合せ部を仮付け溶接する工程
  - ② 管厚みの100%の溶込み深さで突合せ部を本溶接する工程
  - ③ 溶接部を後熱処理する工程
- そして、上記各工程で円周方向に180°の間隔をおいてレーザビームを溶接部に同時に照射する。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 金属管どうしを突き合わせ、レーザビームを突合せ部に沿って円周方向に移動しながら突合せ溶接する方法において、下記の工程からなり、各工程で円周方向に180°の間隔をおいてレーザビームを同時に照射することを特徴とする金属管のレーザ突合せ溶接方法。

① 管厚みの10~50%の溶込み深さで突合せ部を仮付け溶接する工程

② 管厚みの100%の溶込み深さで突合せ部を本溶接する工程

③ 溶接部を後熱処理する工程

【請求項2】 前記本溶接の工程で、レーザビームを一定速度で移動し、レーザ出力0から管厚みの100%の溶込み深さとなる基準レーザ出力までレーザ出力を連続的に増加しながらビード始端部を溶接し、ビード始端部に続く定常部を前記基準レーザ出力で溶接し、定常部に続くビード終端部を前記基準レーザ出力から基準レーザ出力の10%以下までレーザ出力を連続的に減少しながら溶接する請求項1記載の金属管のレーザ突合せ溶接方法。

【請求項3】 金属管どうしを突き合わせ、レーザビームを突合せ部に沿って円周方向に移動しながら突合せ溶接する装置において、2台のレーザ発振器からレーザビームがそれぞれ入射する固定レーザビームガイドと金属管の突合せ部にレーザビームを照射する1対のレーザビーム集光光学系とが第1回転偏向装置、第1レーザビームガイド、第2回転偏向装置、伸縮可能な第2レーザビームガイド、および第3回転偏向装置を介してそれぞれ接続されており、前記第1回転偏向装置および第2回転偏向装置は入射ビームの光軸に対しそれと平行なすべての平面内にレーザビームを偏向するための2枚の反射鏡と自由回転機構を有し、前記第3回転偏向装置は入射ビームの光軸に対し直角なすべての平面内にレーザビームを偏向するための1枚の反射鏡と自由回転機構を有し、前記レーザビーム集光光学系は金属管突合せ部に沿って円周方向に閉じた経路を構成するリング状ガイドレール上を自走する2台の台車にそれぞれ取り付けられており、2台の台車はリング状ガイドレールに沿って180°の角度を持って対向するように配置されていることを特徴とする金属管のレーザ突合せ溶接装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、金属管のレーザ溶接方法およびその装置に関する。この発明は、土木建築分野などで使用される鋼管、ガス・石油輸送用海底パイプラインなどの接合溶接に利用される。

## 【0002】

【従来の技術】管径が比較的大きな管どうしをレーザにより接合溶接することが行われている。例えば従来技術

として、特開昭58-148089号公報に「レーザ式のパイプ加工装置」が開示されている。この従来技術の特徴は、金属管30の周囲にレーザビームを垂直に移動させながら照射する集光光学系に取り付けられたキャリッジ31と、3組の光学エルボ32、33、34と光学エルボ間に取り付けられたレーザビームガイド35から構成される。また、これらの装置全体を傾けることできるジンバルフレーム36によって、ジンバル軸に直角のいかなる平面内に金属管30の軸があっても金属管30にレーザビームを直角に照射できることを特徴としている。

【0003】この従来技術では、図11に示すように全円周溶接を1つのレーザビームを使って溶接するため、レーザ溶接を円周に対し順次進めて行くと溶接部分で発生する熱歪みのために、突合せ部の開先の確保が非常に難しいという問題点を持っている。レーザ溶接部に発生する熱歪みを角変形量で示せば、板厚15mmの材料で溶接線直角方向に対し0.5mrad程度である。この変形量は、例えば直径25インチ、板厚15mmの钢管であれば、溶接開始点から半周にわたり溶接すると、未溶接部分の半周では少なくとも約0.5mmの隙間が開先部分に生じる。これを図12を用いて説明すれば、金属管を図中の1a、1b、溶接部分を11で示せば、開先部分の隙間gが生じることになる。実際に、開先部分の隙間に集光したレーザビームの直径に相当するため、レーザビームは隙間部分を通過し健全な溶接ができるか、片側の材料にレーザビームが照射され溶融金属が開先部を埋めたとしても、隙間部分の体積に相当する金属が不足するため、いざれにせよ健全な溶接が得られないという欠点がある。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】この発明は、金属管どうしの突合せ溶接において、溶接による熱歪みを抑えて健全な溶接部を得ることを課題とする。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】この発明の金属管のレーザ突合せ溶接方法は、金属管どうしを突き合わせ、レーザビームを突合せ部に沿って円周方向に移動しながら突合せ溶接する方法において、次の工程からなっている。

① 管厚みの10~50%の溶込み深さで突合せ部を仮付け溶接する工程

② 管厚みの100%の溶込み深さで突合せ部を本溶接する工程

③ 溶接部を後熱処理する工程

そして、上記各工程で円周方向に180°の間隔をおいてレーザビームを溶接部に同時に照射する。

【0006】この発明では、レーザビームで加工されるべき金属管に対し、円周の対向する位置にレーザ加工ヘッドを配置し、溶接工程のうち材料の貫通溶接を行う前に、円周の対向する位置で同時に仮付け溶接を行うの

で、材料に発生する変形を極小に抑制することができ  
る。また、後熱処理により溶接金属の硬度や韌性の改善  
を図ることができる。なお、金属管が大径である場合、  
円周方向に等間隔をおいて3箇所以上からレーザビーム  
を溶接部に同時に照射するようにしてもよい。

【0007】前記本溶接の工程で、レーザビームを一定  
速度で移動し、レーザ出力0から管厚みの100%の溶  
込み深さとなる基準レーザ出力までレーザ出力を連続的  
に増加しながらビード始端部を溶接し、ビード始端部に  
続く定常部を前記基準レーザ出力で溶接し、定常部に続  
くビード終端部を前記基準レーザ出力から基準レーザ出  
力の10%以下までレーザ出力を連続的に減少しながら  
溶接するようにしてもよい。

【0008】上記のようにレーザ出力を調整しながら溶  
接することにより、溶接の開始位置および終了位置で発  
生する穴あきによる溶接欠陥を防止することができる。

【0009】この発明の金属管のレーザ突合せ溶接装置  
は、金属管どうしを突き合わせ、レーザビームを突合せ  
部に沿って円周方向に移動しながら突合せ溶接する装置  
において、2台のレーザ発振器からレーザビームがそれ  
ぞれ入射する固定レーザビームガイドと金属管の突合せ  
部にレーザビームを照射する1対のレーザビーム集光光学  
系とが次第1回転偏向装置、第1レーザビームガイ  
ド、第2回転偏向装置、伸縮可能な第2レーザビームガイ  
ド、および第3回転偏向装置を介してそれぞれ接続さ  
れている。前記第1回転偏向装置および第2回転偏向装  
置は、入射ビームの光軸に対しそれと平行なすべての平  
面内にレーザビームを偏向するための2枚の反射鏡と自  
由回転機構を有している。また、前記第3回転偏向装置  
は、入射ビームの光軸に対し直角なすべての平面内にレ  
ーザビームを偏向するための1枚の反射鏡と自由回転機  
構を有している。前記レーザビーム集光光学系は、金属  
管突合せ部に沿って円周方向に閉じた経路を構成するリ  
ング状ガイドレール上を自走する2台の台車にそれぞれ  
取り付けられている。2台の台車は、リング状ガイドレ  
ールに沿って180°の角度を持って対向するように配  
置されている。

【0010】上記レーザ突合せ溶接装置において、レー  
ザ発振器から出力されたレーザビームは、固定レーザビ  
ームガイド、第1回転偏向装置、第1レーザビームガイ  
ド、第2回転偏向装置、第2レーザビームガイド、およ  
び第3回転偏向装置を順次経て、レーザビーム集光光学  
系に伝送される。レーザビームはレーザビーム集光光学  
系から金属管にほぼ直角に入射し、かつ焦点距離を一定  
に保って円周方向に移動し、溶接および後熱処理が行わ  
れる。レーザビームの焦点位置は、レーザ集光光学系と  
金属管突合せ部との距離によって調整される。なお、3  
台以上の台車をリング状ガイドレールに沿って等間隔に  
配置し、それぞれの台車にレーザビーム集光光学系を取  
り付けてよい。

## 【0011】

【発明の実施の形態】図1はこの発明のレーザ突合せ溶  
接装置の1例を示す概要斜視図である。図2は、図1に  
示す装置に設けられた第1回転偏向装置の断面図であ  
る。以下に説明する第2回転偏向装置および第3回転偏  
向装置の基本構成は、第1回転偏向装置と同様であるた  
め第1回転偏向装置を例にとり説明する。

【0012】金属管1a、1bは、海底に敷設するライ  
ン用パイプである。パイプの直径は約610mmであ  
り、板厚は15mm、長さは12mである。レーザビ  
ームLBは10.6μmの波長であり、CO<sub>2</sub>レーザ発振  
器1La、1Lbから出力される。レーザ出力は25k  
Wであり、レーザビームLBの直径は55mmである。  
レーザ発振器1La、1Lbから出力されたレーザビ  
ームLBは固定レーザビームガイド20a、20bに伝送  
される。ついで、レーザビームLBは、固定レーザビ  
ームガイド20a、20bに接続する第1回転偏向装置2  
a、2bを経て、第1回転偏向装置2a、2bと第2回  
転偏向装置3a、3bとの間に配置された第1レーザビ  
ームガイド7a、7b中で伝送される。第1回転偏向装  
置2a、2bおよび第2回転偏向装置3a、3bは、入  
射ビームの光軸に対しそれと平行なすべての平面内にレ  
ーザビームを偏向するための2枚の反射鏡(図2中の1  
3)と自由回転機構を有する。第2回転偏向装置3a、  
3bに伝送されたレーザビームLBは、第2回転偏向装  
置3a、3bと第3回転偏向装置4a、4bの間に配置  
された伸縮可能な第2レーザビームガイド8a、8b中  
を伝送される。第3回転偏向装置4a、4bは、入射ビ  
ームの光軸に対し直角なすべての平面内にレーザビーム  
を偏向するための1枚の反射鏡と自由回転機構を有し、  
レーザビーム集光光学系5a、5bに接続されている。  
レーザビームLBは、第3回転偏向装置4a、4bを介  
してレーザビーム集光光学系5a、5bに入射される。  
レーザビーム集光光学系5a、5bは、リング状ガイ  
ドレール6に沿って走行する2台の台車51a、51bの  
それぞれに取り付けられている。リング状ガイドレール  
6の中心は、金属管1a、1bの中心0と中心のほぼ一  
致している。2台の台車51a、51bは、円周に沿って  
180°の間隔をおいて駆動装置(図示しない)により  
走行する。2台の台車51a、51bは、円周に沿って  
180°以上走行可能である。第1レーザビームガイド  
7a、7bおよび第2レーザビームガイド8a、8b  
は、台車51a、51bの走行に伴って移動する。第1  
レーザビームガイド7a、7bおよび第2レーザビーム  
ガイド8a、8bは、移動の際に互いに接触することは  
なく、また金属管、レーザビーム集光光学系5a、5b  
およびリング状ガイドレール6に接触することのない長  
さとなっている。

【0013】上記の各回転偏向装置に含まれる反射鏡  
(図2中の13)は銅の表面に金メッキを施してあり、

大きさは直径100mm、厚さは15mmであり、反射鏡用ホルダーに取り付けられてい。また、各自由回転機構は、内径80mm、外径110mmのポールベアリング(図2中の12)である。第1回転偏向装置2a、2bの自由回転機構は固定レーザビームガイド20a、20bと反射鏡用ホルダー(図2中の14)の間に、第2回転偏向装置3a、3bの自由回転機構は2つの反射鏡用ホルダーの間に、また第3回転偏向装置4a、4bの自由回転機構は伸縮可能な第2レーザビームガイドとレーザビーム集光光学系5a、5bとの間にそれぞれ配置されている。固定レーザビームガイド20a、20bおよび第1レーザビームガイド7a、7bは外径80mmの鋼管であり、長さは800mmである。第2レーザビームガイド8a、8bは、外径80mmの钢管が、外径90mmの钢管が挿入された構成であり、長さは最小625mmから最大675mmの範囲で伸縮が可能である。なお、伸縮可能な第2レーザビームガイド8a、8bで第2回転偏向装置3a、3bと第3回転偏向装置4a、4bとの間の間隔を変えることにより、リング状ガイドレール6の変形や金属管1a、1bとの同軸性が損なわれた場合の走行の安定性を確保する機能がある。

【0014】図3は、この装置に含まれる2つのレーザビーム集光光学系5a、5bの位置関係を示す概要図である。図中の1は2つの金属管1a、1bの溶接部分を示し、図中のOは金属管の中心である。2つのレーザビーム集光光学系5a、5bは金属管の中心Oを通り、一直線上に配置され、すなわち円周上で180°の角度を持って対向する位置に配置されている。図中のFLはレーザビーム集光光学系5a、5bの焦点距離を示し、ここでの説明では金属管の表面にレーザビームLBを集光しているが、溶接条件によってはその焦点位置をずらしても構わない。レーザビームLBは金属管にほぼ直角に入射し、かつ焦点距離FLを一定に保ち円周方向に移動する。

【0015】図4は、この発明の装置を用いて金属管を溶接する際の第1工程を示している。第1工程は仮付け溶接工程である。図中の $\alpha$ は金属管の中心Oに、仮付け溶接開始後からレーザビーム集光光学系5a、5bとレーザビームLBが回転した角度を示している。角度 $\alpha$ 回転後のレーザビームの位置はLB $\alpha$ であり、レーザビーム集光光学系5a、5bの位置は5a $\alpha$ 、5b $\alpha$ である。このとき、レーザ出力と溶接速度を制御することで、金属管の板厚の10%から50%程度まで溶込み深さを制御することが可能で、これは図中の9a、9bで示される。この仮付け溶接を金属管の貫通溶接つまり本溶接の前に、金属管の円周上で対向するレーザビーム集光光学系5a、5bで同時に開始することにより、図12で示した溶接金属部分で発生する熱歪みによる金属管の間に生じる隙間(図12中のg)をなくすことが可能で、溶接欠陥の無い溶接を実現できる。

【0016】図5は、図4で説明した仮付け溶接で金属管のほぼ全周にわたり仮付けしたときの概要図である。このときのレーザビームLBおよびレーザビーム集光光学系5a、5bの回転角は $\beta$ で表すことができる。このように仮付け溶接終了後に、金属管の全周にわたり本溶接を行う。

【0017】図6は、図4および図5で説明した第1工程で仮付けを金属管の円周上に間欠的に行ったときの概要図である。ここで形成される溶接金属はそれぞれ10a、10bである。これはレーザ出力を間欠的に変化させることで容易に実現できる。したがって、形成される溶接金属は図のように線状でも構わないし、複数の点溶接でも構わない。

【0018】図7は、第2工程である貫通溶接(本溶接)終了後の溶接金属11a、11bを示すとともに、第3工程の開始直後の概要図を示している。第3工程は、溶接後に行われる後熱処理である。一般に、溶接の後熱処理は溶接金属の硬度や韌性の制御のために行われる。このとき熱源には第1工程および第2工程に用いたレーザビームを使用する。後熱処理では溶接に比較し、100~1000W/cm<sup>2</sup>程度パワー密度の低い領域を使用することが要求される。これはパワー密度の低い入熱条件では熱勾配が溶接よりも緩やかになるために、特に冷却速度が遅くなり、溶接金属の硬度の低減には有効な方法(焼戻し)になる。パワー密度の低減の方法にはレーザ出力を低くすることと、図に示したように金属管と集光光学系の距離FL'を変化させデフォーカス状態でレーザビームを照射すること、およびこの2つの方法を同時に用いる方法がある。

【0019】図8は、溶接の開始位置と終了位置で発生する穴あきによる溶接欠陥を防止する方法を示した概念図であり、図は溶接開始時を示している。レーザ溶接はキーホール溶接と呼ばれ、レーザビーム照射中に発生する溶融金属内部のレーザビームの照射点の前後で貫通した穴を開けながら溶接するプロセスである。このようなプロセスにおいては溶接開始位置と溶接終了位置では表面が大きく凹む穴欠陥となり、機械的強度に悪影響を及ぼす溶接欠陥となる。図中の二点鎖線は、レーザの照射開始位置である。このようにレーザ照射開始位置から形成される溶接金属(図中では例として11b)の深さを連続的に深くして行く。それにより、穴欠陥を防止することが可能である。

【0020】図9は、図8で説明した溶接開始時と溶接終了時の穴欠陥防止の方法を同時に示している。図中の一点鎖線は溶接金属11aを形成するためのレーザビームの照射開始位置で、二点鎖線は溶接金属11bを形成したレーザビームの照射終了位置である。このように溶接金属11aと11bを重ね合わせることにより、レーザビーム照射方向とは反対側、つまり金属管の内周側の溶込み不良を防止することができる。

【0021】図10は、図8および図9で説明した溶接欠陥防止方法を行うためのレーザビームの出力変化を示している。図10の横軸は金属管円周上の位置を円周の角度示し、縦軸はレーザ出力を示している。点線は図7、図8および図9で示した溶接金属11aを形成するときの出力である。溶接金属11aは角度0から角度一 $\gamma$ （図中の二点鎖線の位置）までレーザ出力を連続的に変化させ、実線は溶接金属11bの場合を示している。角度 $\gamma$ は、円周上で溶接金属の連続的な変化の長さが約10～20mm程度であればよく、金属管の直径に対応し変化する。

【0022】この発明のレーザ突合せ溶接方法により複数の鋼管を溶接接合し、任意の長さの鋼管が得られる。このようにして溶接接合された長尺の鋼管は、ガスあるいは石油などの輸送を目的としたラインパイプに用いられる。また、この発明のレーザ突合せ溶接装置をラインパイプ敷設船に搭載し、钢管を接続しながらラインパイプを敷設することができる。

#### 【0023】

【発明の効果】この発明では、レーザビームで加工されるべき金属管に対し、円周の対向する位置にレーザ加工ヘッドを配置し、溶接工程のうち材料の貫通溶接を行う前に、円周の対向する位置で同時に仮付け溶接を行うので、材料に発生する変形を極小に抑制することができる。また、後熱処理により溶接金属の硬度や韌性の改善を図ることができる。溶接開始時にレーザ出力を漸増し、終了時に漸減しながら溶接した場合、溶接の開始位置および終了位置で発生する穴あきによる溶接欠陥を防止することができる。これらのことから、健全な突合せ溶接部を得ることができ、接合強度の向上を図ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明のレーザ突合せ溶接装置の1例を示す概略斜視図である。

【図2】図1に示す装置に設けられた第1回転偏向装置の断面図である。

【図3】上記装置に含まれる2つのレーザビーム集光光学系の位置関係を示す概略図である。

【図4】仮付け溶接の方法を説明する図面である。

【図5】連続的な仮付け溶接工程の説明図である。

【図6】間欠的な仮付け溶接工程の説明図である。

【図7】後熱処理工程の説明図である。

【図8】レーザ出力を漸増した場合に生じる溶接金属の模式図である。

【図9】レーザ出力を漸増および漸減した場合に生じる溶接金属の模式図である。

【図10】金属管円周上の位置とレーザ出力の関係を示すグラフである。

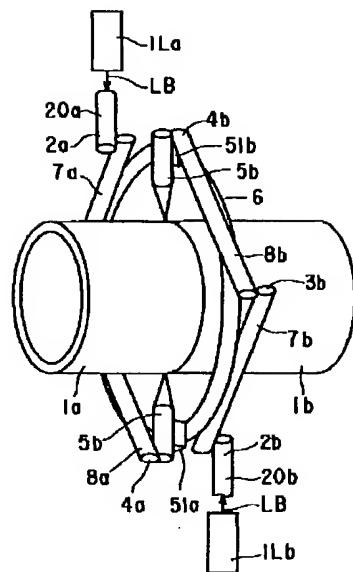
【図11】従来法のレーザ溶接装置の概略図である。

【図12】従来法により突き合わせ溶接した場合に熱歪みにより生じる隙間の説明図である。

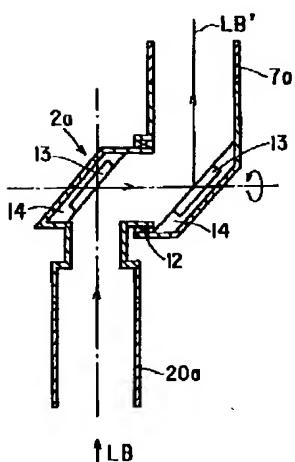
#### 【符号の説明】

- 1 : 溶接部分
- 1 a : 金属管
- 1 b : 金属管
- 1 L a : レーザ発振器
- 1 L b : レーザ発振器
- 2 a : 第1回転偏向装置
- 2 b : 第1回転偏向装置
- 3 a : 第2回転偏向装置
- 3 b : 第2回転偏向装置
- 4 a : 第3回転偏向装置
- 4 b : 第3回転偏向装置
- 5 a : レーザビーム集光光学系
- 5 b : レーザビーム集光光学系
- 5 a $\alpha$  : 角度 $\alpha$ 回転後の集光光学系
- 5 b $\alpha$  : 角度 $\alpha$ 回転後の集光光学系
- 5 a $\beta$  : 角度 $\beta$ 回転後の集光光学系
- 5 b $\beta$  : 角度 $\beta$ 回転後の集光光学系
- 6 : ガイドレール
- 7 a : 第1レーザビームガイド
- 7 b : 第1レーザビームガイド
- 8 a : 第2レーザビームガイド
- 8 b : 第2レーザビームガイド
- 9 a : 仮付けの溶接金属
- 9 b : 仮付けの溶接金属
- 10 a : 間欠的な仮付けの溶接金属
- 10 b : 間欠的な仮付けの溶接金属
- 11 a : 第二の工程で溶接された溶接金属
- 11 b : 第二の工程で溶接された溶接金属
- 12 : ポールベアリング
- 13 : 反射鏡
- 14 : 反射鏡ホルダー
- 20 a : 固定レーザビームガイド
- 20 b : 固定レーザビームガイド
- 51 a : 台車
- 51 b : 台車
- L B : レーザビーム
- L B' : レーザビーム
- L B $\alpha$  : 角度 $\alpha$ 回転後のレーザビーム
- L B $\beta$  : 角度 $\beta$ 回転後のレーザビーム
- F L : 集光光学系の焦点距離
- F L' : デフォーカス状態の集光光学系と金属管の距離
- O : 円筒形の金属管の円周の中心
- $\alpha$  : 集光光学系の回転角度
- $\beta$  : 集光光学系の回転角度
- $\gamma$  : 集光光学系の回転角度

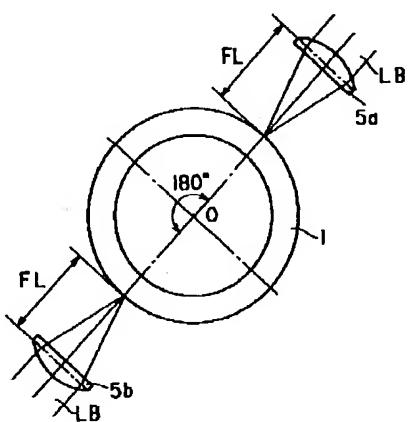
【図1】



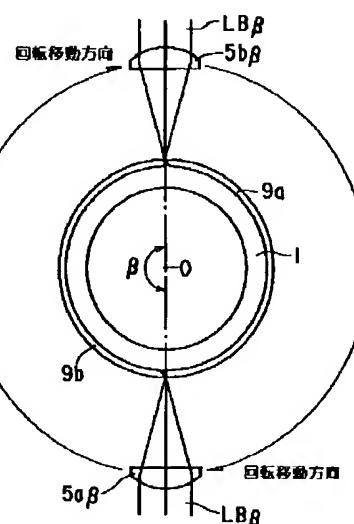
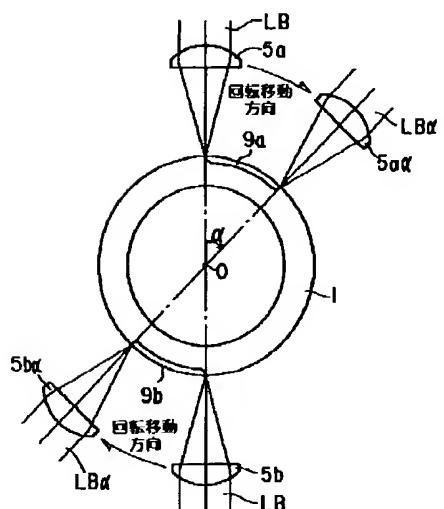
【図2】



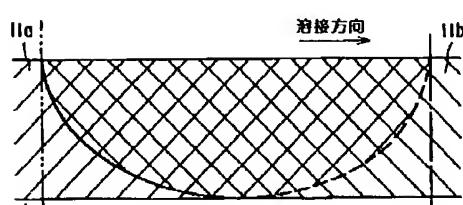
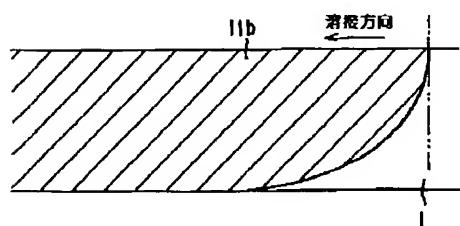
【図3】



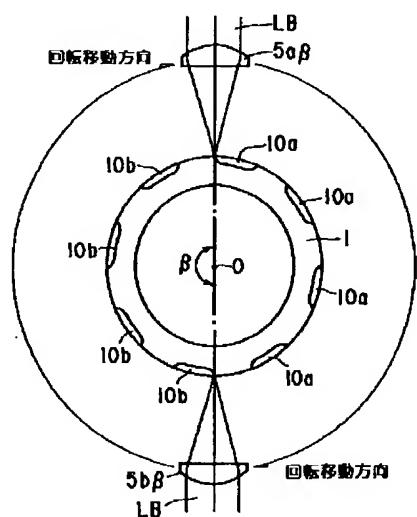
【図4】



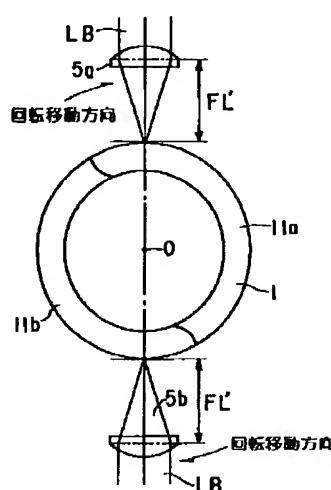
【図8】



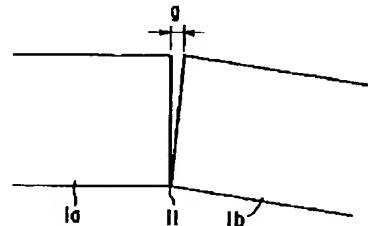
【図6】



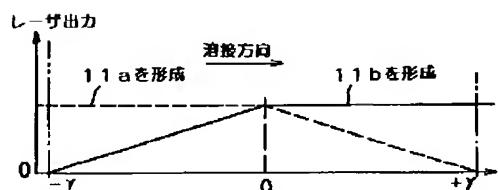
【図7】



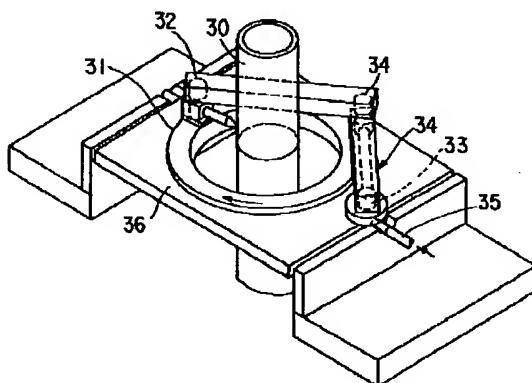
【図12】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 古賀 一郎

千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式  
会社技術開発本部内